Aus der III. Medizin. Univ.-Poliklinik der Universität Berlin
Direktor: Geh.-Rat Prof. Dr. A. Goldscheider.

Der Wirkbereich von Temperaturreizen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der

Medizinischen Doktorwürde

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin

vorgelegt von

Harald Taeger

aus Zittau i/Sa.

Tag der Promotion: 15. 5. 33

317

Gedruckt mit Genehmigung

der

Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. H. Gocht

Referent: Geh.-Rat Prof. Dr. A. Goldscheider

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus
„Zeitschrift für Sinnesphysiologie“
Bd. 63 (1933)
Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig
Printed in Germany

(Aus der III. Medizinischen Universitätspoliklinik der Universität Berlin)

Der Wirkbereich von Temperaturreizen

Von

Harald Taeger (Berlin)

Mit 2 Abbildungen im Text

Inhaltsverzeichnis

Seite

I. Methode 264
II. Ausdehnung und Form der Irradiationsfelder 267
a) Kälte 267
b) Wärme 268
c) Verhältnis von Reizflächengröße und Irradiationsfeld 269
d) Kataphorese und Ausdehnung der Irradiationsfelder 273
III. Dauer und Intensitätsverlauf der taktilen Temperaturmitempfindung 274
A. Das Intensitätsmaximum der taktilen Temperaturmitempfindung 276
a) Kälte 276
b) Wärme 277
B. Die Nachdauer der taktilen Temperaturmitempfindung. . . . 279
Besprechung der Versuchsergebnisse 279
Zusammenfassung 283

Über Irradiationserscheinungen im Bereich des Temperatursinnes hat Goldscheider (1, 2) folgende Beobachtungen mitgeteilt:

In einem eine Temperaturreizquelle umgebenden Hautbezirk verursachen reine Berührungsreize nicht mehr einfache taktile Berührungsempfindungen, sondern erwecken den Eindruck, als würden sie selber mit einem kalten bzw. warmen Reizobjekt ausgeführt. Diese Erscheinung wird als taktile Temperaturmitempfindung bezeichnet. (Die auf die Haut einwirkenden Temperaturreize werden im folgenden stets als primäre Reize, die unmittelbar ausgelöste Empfindung als primäre Empfindung, der Ort ihres Einwirkens als primärer Reizort, die taktilen Berührungsreize als sekundäre Reize, die dadurch ausgelöste Empfindung als sekundäre Empfindung bzw. bei Beimischung einer Temperaturempfindung als Mitempfindung, der Einwirkungsort der taktilen Reize als sekundärer Reizort bezeichnet. Verf.) Der Charakter der taktilen Temperaturempfindung entspreche stets der Qualität der primären Empfindung, unabhängig von deren Stärke. Das Gebiet, innerhalb dessen die

taktile Temperaturmitempfindung nachweisbar war, sei bei den einzelnen Versuchen verschieden groß und zeige Beziehungen zu den spinalen Innervationsgebieten. Es sei an den Extremitäten mehr lang als breit, proximal ausgedehnter als distal. Psychische Kontrastwirkung bei Beobachtung der taktilen Temperaturmitempfindung sei auszuschließen, desgleichen spielten vasomotorische Vorgänge keine Rolle. Alle die beschriebenen Erscheinungen seien deutlicher bei Anwendung von Wärme- als von Kältereizen am primären Reizort. Nach Reizbeginn am primären Reizort trete alsbald die taktile Temperaturmitempfindung auf, nehme an Intensität zu und breite sich vor allem proximal weiter aus. Die Intensität der taktilen Temperaturmitempfindung nehme mit der Entfernung vom primären Reizort sowohl in distaler wie in proximaler Richtung ab, ginge im übrigen etwa der Empfindungsintensität am primären Reizort parallel.

Als Ursache der taktilen Temperaturmitempfindung sei wahrscheinlich Irradiation, nicht Verschmelzung von primärer Temperatur- und sekundärer Berührungsempfindung anzunehmen. Sie beruhe jedenfalls nicht auf einer vom primären Reizort fortgeleiteten Abkühlung oder Erwärmung der Haut.

Für Irradiation spreche, daß die taktile Temperaturmitempfindung

1. streng lokalisiert am sekundären Reizort und deutlich getrennt von der am primären Reizort durch den primären Temperaturreiz ausgelösten Temperaturempfindung wahrgenommen werde;
2. in einem Gebiet nachweisbar sei, das Beziehungen zur spinalen Innervation der Haut zeige und Ähnlichkeiten mit den von ihm geprüften hyperalgetischen Feldern aufweise;
3. gelegentlich noch vorhanden sei, nachdem die Temperaturempfindung am primären Reizort bereits stark abgenommen habe, bzw. schon erloschen sei;
4. viel stärker sei, wenn der sekundäre Reizort temperaturempfindlich sei, und daß eine differente Temperatur des sekundären Reizobjektes die Erscheinung intensiver als der indifferente hervortreten lasse;
5. daß das Gebiet, in welchem die taktile Temperaturmitempfindung zustande komme, sich während der Einwirkung des primären Reizes besonders proximal vergrößere.

Der primäre Temperaturreiz erzeuge durch seine Intensität und Dauer eine irradiierende Erregung der die Temperaturreize leitenden Nervenbahnen, so daß bei der zentralen Fortleitung der taktilen Reize die im Zustand erhöhter Erregbarkeit befindlichen Stellen der zentralen Temperatursinnesleitungsbahn mit anklängen. Die geordnete Leitung vollziehe sich durch die Abstimmung der Erregbarkeitswerte der leitenden Neurone. Diese Vorstellung erfordere die Annahme zentraler Verbindungen zwischen den die Temperatur- und Berührungsreize leitenden Bahnen. Derartige

Verbindungen seien anatomisch durchaus denkbar. Daß eine solche Verbindung zumindest in den Reflexbögen bestände, bewiesen die sowohl durch Berührungs- wie Temperaturreize (besonders Kaltreize) ausgelösten gleichen Reflexbewegungen.

I. Methode

Methodisch hielt ich mich an die von Hahn (3) zur Untersuchung des Temperatursinnes entwickelten Gesichtspunkte. Seine Untersuchungen über den Erregungsvorgang der Temperaturnerven ergaben eine Umstimmbarkeit (echte Adaptation) unter dem Einfluß adaptierender Reize, bei Fernhaltung solcher eine konstante Empfindlichkeit. Berücksichtigt man diese Umstimmbarkeit nicht, so erhält man lediglich Situationswerte als Ergebnis der Stärke, Dauer und des Zeitabstandes des zuvorgehenden Temperaturreizes. Bei Serienuntersuchungen ergibt sich deshalb die Notwendigkeit, zwischen zwei Reizen die Rückbildung der durch den ersten Reiz verursachten Erregbarkeitsveränderung (= Abstimmung) der Temperaturnerven abzuwarten, dabei zweckmäßig in der Zwischenzeit der Haut eine Temperatur mitzuteilen, welche die Rückkehr zur vollen Empfindlichkeit (= Anstimmung) begünstigt (4). Diese Zwischentemperatur sei künftig stets als Hauttemperatur bezeichnet.

Der zeitliche Abstand zwischen zwei Reizungen betrug bei meinen Versuchen bei höheren Temperaturen (Hauttemperaturen) gleichbleibend jeweils 3 Minuten. Die Hauttemperatur von 30° C, die etwa der normalen Hauttemperatur entspricht, nimmt nach den Erfahrungen Hahns eine Sonderstellung ein. Bei ihr geht die Anstimmung der Kältenerven besonders langsam vor sich. Deshalb wurden bei dieser Hauttemperatur die Einzelreizungen in zeitlichem Abstand von (mindestens) 5 Minuten vorgenommen. Bei Abkühlung der Haut der primären Reizstelle auf 10° C mußte die Dauer der Einwirkung dieser Hauttemperatur auf 1 Minute beschränkt werden. Längere Einwirkung dieses starken Kältereizes hat nämlich einmal zu langdauernder Störung der Temperaturempfindlichkeit des primären Reizortes geführt, so daß die Versuche 2 Wochen unterbrochen werden mußten, ehe die alte Empfindlichkeit wiederhergestellt war, wie eine erneute Schwellenbestimmung ergab. Die Zwischenzeiten von 3 bis 5 Minuten sind bei der Dauer der von mir verwendeten Einzelreizungen entsprechend den Untersuchungen Hahns als reichlich bemessen zu bezeichnen.

Da nach den Erfahrungen Hahns (4) die adaptierende Nachwirkung eines vorangehenden stärkeren Temperaturreizes auf die Erregbarkeit der Nerven gegen einen nachfolgenden schwächeren Reiz unverhältnismäßig langdauernd ist, wurde der Übergang von einem stärkeren auf einen

wesentlich schwächeren Reiz gleicher Qualität innerhalb einer Sitzung stets vermieden.

Als Vpn. stellten sich mir in dankenswerter Weise die Herren cand. med. Petri (Vp. I), stud. med. J. Taeger (Vp. II) und Frl. cand. phil. Gleich (Vp. III) zur Verfügung. Versuchsleiter war stets der Verf. Den Vpn. waren der Gegenstand der Untersuchung sowie die an den beiden anderen Vpn. gewonnenen Ergebnisse unbekannt.

Als Reizstelle für den primären Temperaturreiz diente zunächst eine gut temperaturempfindliche Stelle der Volarseite des Unterarmes, deren Mittelpunkt 16,0 cm vom Handgelenk (Radiusköpfchen) entfernt in der Mittellinie des Unterarmes lag. Der Mittelpunkt wurde punktförmig durch Tätowierung (Nadelstich; chinesche Tusche) dauerhaft markiert.

Das Versuchsgebiet wurde jeweils 15 Minuten vor Beginn der Versuche der Temperatur der Zimmerluft, die bei allen Versuchen 16 bis 20° C betrug, unbekleidet ausgesetzt. Der Versuchsarm wurde weich auf Kissen gelagert und der Temperator leicht mittels eines Stativs über dem primären Reizort befestigt. Als Reizobjekt diente bei allen Versuchen ein Thunbergscher Temperator mit kreisrunder Bodenfläche, deren Durchmesser 1,5 cm (Temperator I) betrug. Der Temperator stand durch Schläuche mit zwei je 10 l fassenden Gefäßen in Verbindung, von denen das eine Wasser von Reiztemperatur, das andere Wasser von Hauttemperatur enthielt. Die Wassertemperaturen wurden mit zwei Thermometern die $^1/_{10}{}^0$ bequem abzulesen erlaubten, kontrolliert und nötigenfalls durch Zugießen von kaltem bzw. warmen Wasser reguliert. Das Wasser wurde vor jedem Versuch mit einem Schöpflöffel kräftig durchrührt, damit die Temperatur in allen Schichten gleich war. Über den Wasserbehältern mündeten eine Warm- und eine Kaltwasserleitung, aus denen bei Anwendung höherer Wärme- bzw. niederer Kältegrade dauernd etwas Wasser zur Konstanthaltung der Temperatur zulief. Der Übergang von Haut- zu Reiztemperatur wurde durch Ausschalten des Wassers von Hauttemperatur und gleichzeitiges Einschalten des Reizwassers mittels eines Dreiwegehahnes bewirkt. Der Temperator wurde bei allen Versuchen gleichmäßig von 25 $\frac{\text{ccm}}{\text{Sek.}}$ Wasser durchströmt.

Bei allen Vpn. wurde mit dem von Hahn (7) angegebenen Verfahren nach der Methode der richtigen und falschen Fälle die Reizschwelle des primären Reizortes am Unterarm für Warm- und Kaltreize bestimmt, wodurch ein Vergleich der Temperaturempfindlichkeit des primären Reizortes bei den verschiedenen Vpn. möglich wurde. Da nach Hahn die Reizschwellenwerte praktisch unabhängig von der Größe der Reizfläche und von der Wahl der Hauttemperatur sind, wurden die Schwellenbestimmungen nur mit dem Temperator I bei einer Hauttemperatur ausgeführt. Die Reizschwellen des primären Reizortes am Unterarm für Kalt- und Warmreize sind in Tab. 1 zusammengestellt.

In der ersten Längskolonne sind die Nummer der Vpn., in der zweiten die Hauttemperatur in der 3 Minuten währenden Pause bei Bestimmung der Warmschwelle, in der vierten die Hauttemperatur bei Bestimmung der Kaltschwelle eingetragen.

Tabelle 1

Vp.	Haut-temperatur	Warm-schwelle	Haut-temperatur	Kalt-schwelle
I	20°	32,8° C	40°	27,5° C
II	20°	33,4° C	40°	28,3° C
III	20°	32,5° C	40°	27,1° C

Die sekundären (taktilen) Reizungen wurden mit einem nach dem Prinzip der v. Freyschen Berührungshaare eingerichteten, mit verschieblicher, graduierter Hülse versehenen Ästhesiometer ausgeführt, welches die Länge des Roßhaares zu variieren gestattet. Der Berührungsreiz entsprach bei allen Versuchen 2 g, wobei er eine reine Berührungsempfindung verursachte. Um eine Wärmeausstrahlung der Hand des Vl. auf das Reizgebiet zu vermeiden, wurde das Ästhesiometer an einem 20 cm langen Holzstäbchen befestigt gehalten.

Zur Bestimmung der Grenzen des Gebietes, innerhalb dessen die taktile Temperaturmitempfindung nachweisbar war, wurde folgendermaßen verfahren: Nach Einschalten des Reizwassers wurde der Eintritt der vollen Temperaturempfindung am primären Reizort abgewartet, sodann von proximal, distal, radial und ulnar in der Richtung auf die primäre Reizquelle folgeweise Berührungen ausgeführt. Die Dauer der Einwirkung des primären Temperaturreizes war nie länger als 30 Sek., auch wenn die taktile Temperaturmitempfindung noch nicht erloschen war. In einem zu bestimmenden Abstand von der primären Reizquelle wurde dann der sekundäre Berührungsreiz nicht mehr als reine Berührung, sondern außerdem als kalt bzw. warm empfunden. Die Vp. benachrichtigte den Vl. durch einen Zuruf von diesem Wechsel der Empfindungsqualität, dem Beginn. also der Temperaturmitempfindung. Die so gewonnenen Punkte wurden in Abständen von ca. 5 mm bestimmt, auf der Haut mit Tinte markiert, nach Beendigung des Versuches mit Tinte zu einem Kontur ausgezogen, der Mittelpunkt des primären Reizortes ebenfalls mit Tinte angekreuzt und das Ganze auf einen Bogen angefeuchteten Schreibmaschinenpapiers abgeklatscht

Die Messung der Länge des Feldes erfolgte auf einer durch den Mittelpunkt des primären Reizortes ziehenden Parallelen zur Längsachse des Armes, die Breitenmessung auf einer ebenfalls durch den Mittelpunkt des primären Reizortes ziehenden, auf ersterer senkrechtstehenden Geraden.

Die in Abschnitt 5 angegebenen Zeiten wurden mit einer $^1/_5$ Sek. anzeigenden Stoppuhr gemessen. Einige Abänderungen der eben geschilderten Versuchsanordnung, die sich für die in diesem Abschnitt beschriebenen Versuche als nötig erwiesen, sind dort näher beschrieben.

Die Vpn. bedürfen zur Ausführung der Versuche einer gewissen Übung. Jedoch genügten ca. 4 bis 5 Versuche, um zu einer regelmäßigen, verwertbaren Urteilsbildung zu gelangen. Die längste Dauer einer Versuchsserie in einer Sitzung betrug 3 Stunden. Meist währten die Sitzungen 2 bis $2^1/_2$ Stunden. Die Versuche wurden in der Zeit von November 1931 bis Mai 1932 ausgeführt.

II. Ausdehnung und Form der Irradiationsfelder

Bei der Untersuchung der Ausdehnung des Gebietes, in welchem bei Einwirken eines primären Temperaturreizes eine taktile Empfindung von einer Temperaturmitempfindung begleitet ist, machten wir noch folgende allgemeine Beobachtungen:

Die Qualität der taktilen Temperaturmitempfindung deckt sich mit derjenigen der durch den primären Temperaturreiz am primären Reizort ausgelösten Empfindung. Nach vollständiger Adaptation am primären Reizort erlischt auch die taktile Temperaturmitempfindung. Unter sonst gleichen Versuchsbedingungen rufen stärkere Berührungsreize eine kräftigere Temperaturmitempfindung hervor als schwache. Überschreiten die Berührungsreize jedoch eine geringe Stärke und rufen sie Stich- Juck- oder Kitzelempfindungen hervor, so tritt die taktile Temperaturmitempfindung mehr in den Hintergrund.

a) *Kälte*

Die Ausdehnung der Kälteirradiationsfelder wurde an allen untersuchten Stellen mit Kältereizen von 25°, 20° und 15° C, am Unterarm außerdem mit solchen von 26,5° und 10° C bestimmt. Als Hauttemperaturen wählte ich 35° und 40° C. Es ergab sich zunächst die Tatsache, daß die Größe des Kälteirradiationsgebietes unabhängig von der Stärke des primären Kältereizes ist. Ich erhielt bei allen Vpn. sowohl bei Anwendung ganz schwacher, schwellennaher Reize (26,5° C) als auch stärkster, eine eisige Empfindung auslösender Kältereize (15° und 10°) stets gleichgroße, elliptisch geformte Irradiationsfelder (s. Abb. 1).

Zur Sicherung dieses nicht ohne weiteres zu erwartenden Befundes setzten wir am Schluß der Untersuchungen, als die Vpn. über hinreichende Übung verfügten, einen Vexierreiz von 30° C, der keine Temperaturempfindung auslöste, um zu prüfen, ob die Vpn. etwa in der Lage seien, auch ohne primären Temperaturreiz aus der Erinnerung ein derartig genau elliptisch geformtes Gebiet zu produzieren. Allen drei Vpn. gelang dies — wie übrigens auch bei Warmreizen — nicht.

Wir begannen stets mit dem schwächsten Kältereiz und kontrollierten mit den stärkeren die Ergebnisse. Die Ausdehnung der Gebiete blieb am selben Tag stets annähernd gleich, schwankte aber an den verschiedenen Tagen ein wenig.

In den nachfolgenden Tabellen sind die Versuchsergebnisse für drei bzw. zwei Vpn. zusammengestellt. Die in Tabelle 2 und 3

angegebenen Zahlen sind bei Vp. I je aus 80 an 20 verschiedenen Tagen, bei Vp. II und III aus je 15 an 5 verschiedenen Tagen vorgenommenen Untersuchungen errechnet.

b) *Wärme*

Die Ausdehnung der Wärmeirradiationsfelder wurde auf gleiche Weise mit Wärmereizen von 34°, 35°, 40° und 45° C in gleicher Reihenfolge bestimmt, nach 30 Sek. Reizdauer der primäre Reizort für 3 Minuten auf 25° C abgekühlt, auch wenn die taktile Temperaturmitempfindung noch nicht erloschen war. Die Ausdehnung der Wärmeirradiationsfelder ist ebenfalls unabhängig von der Reizstärke: bei schwellennahen Wärmereizen am primären Reizort ist das Gebiet, in welchem die taktile Temperaturmitempfindung nachweisbar ist, ebenso groß wie bei den stärksten, eine Hitzeempfindung auslösenden Wärmereizen. Die elliptische Form ist nicht so typisch wie bei Kältereizen (s. Abb. 2). In Tab. 4 und 5 sind die Ergebnisse zusammengestellt. Den angegebenen Zahlen liegt die gleiche Anzahl von Versuchen zugrunde wie bei den Kälteversuchen.

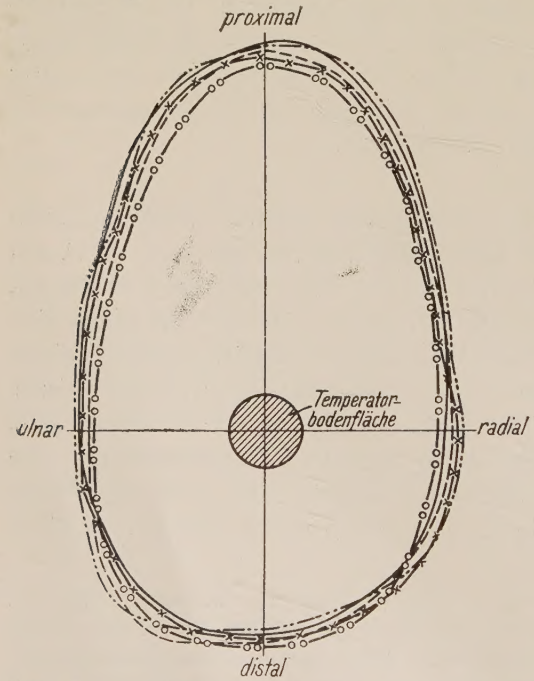

Abb. 1 $^2/_3$ natürlicher Größe. Umrisse der Kälteirradiationsfelder an der Volarseite des rechten Unterarmes von Vp. I, an 5 aufeinanderfolgenden Tagen jeweils mit Primärreizen von 26,5°, 25°, 20°, 15° u. 10° C. bestimmt

Aus den Tab. 2 bis 5 geht hervor, daß die Wärmeirradiationsfelder wesentlich größer sind als die durch Kälte hervorgerufenen. Die Ausdehnung der Irradiationsfelder ist (bei den einzelnen Vpn.) in den verschiedenen Versuchsgebieten der Größe nach annähernd konstant. Die Größenunterschiede der

Maße der Irradiationsfelder im gleichen Versuchsgebiet zeigen nur geringe individuelle Unterschiede. Sowohl bei primären Kälte- als auch Wärmereizen sind die zentraler gelegenen Abschnitte d. h. an den Extremitäten proximal, am Rumpf in Richtung auf die Wirbelsäule (hintere Wurzeln) größer als die peripheren. Temperaturreize irradiieren also vorwiegend in zentraler Richtung.

Die bei Berechnung der Durchschnittswerte ermittelte tägliche Schwankungsbreite der Ausdehnung der Irradiationsfelder beträgt 4—5 %. Sie entfällt in der Längsrichtung vorwiegend auf die zentralwärts gelegenen Abschnitte. Bei den Breitemaßen ist sie vor allem bei den Wärmeirradiationsfeldern größer (bis zu 7 %), besonders am Rumpf, weniger an den Extremitäten. Liegt der primäre Reizort in der Mittellinie des Rumpfes bzw. der Extremität (Tab. II 1, 4; III 1, 4; IV 1, 4; V 1, 4), so sind die Unterschiede der Breitenmaße nach beiden Seiten nur gering.

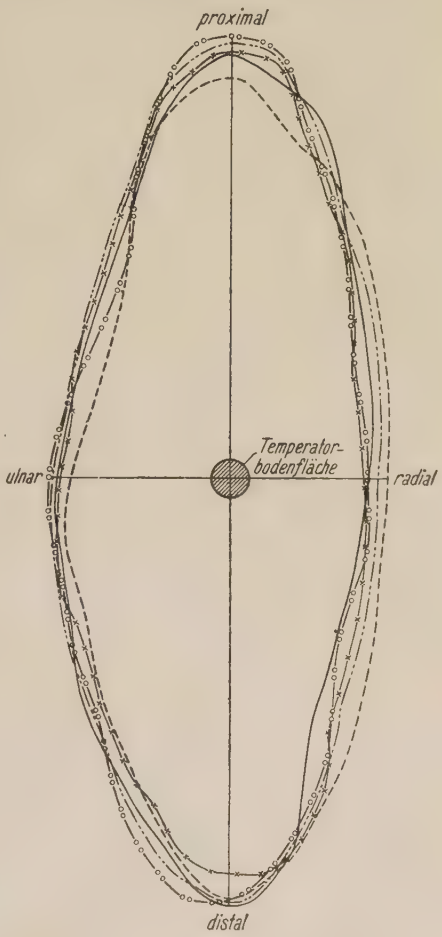

Abb. 2, 1/3 natürlicher Größe. Umrisse der Wärmeirradiationsfelder an der Volarseite des rechten Unterarmes von Vp. I, an 5 aufeinanderfolgenden Tagen jeweils mit Primärreizen von 34°, 35°, 40° u. 45° C bestimmt

c) *Verhältnis von Reizflächengröße und Irradiationsfeld*

Sämtliche Versuche wurden mit zwei ebenfalls kreisrunden, größer dimensionierten Temperatoren mit 2,6 cm und 6,0 cm Bodendurchmesser wiederholt. Temperatoren standen mithin von 1 : 3 : 16. Die Grundflächen der benutzten untereinander in einem Verhältnis

Tabelle 2

Primärer Reizort	Abschnitt	Durchschnitt in cm			Bemerkungen
		Vp. I	Vp. II	Vp. III	
1. Unterarm Mitte der Volarseite, 16 bis 17 cm vom Handgelenk (Radiusköpfchen)	Gesamtlänge	12,3	12,4	12,2	Form: elliptisch Längsachse der Ellipse parallel zur Längsachse des Armes
	proximaler Abschnitt	7,5	7,5	7,4	
	distaler Abschnitt	4,8	4,9	4,8	
	Gesamtbreite	6,8	8,3	7,5	
	radialer Abschnitt	3,3	4,1	3,7	
	ulnarer Abschnitt	3,5	4,2	3,8	
2. Oberarm Laterale Fläche, 21 cm oberhalb Olecranon bei gebeugtem Arm, 3,5 cm lat. hinterer Mittellinie	Gesamtlänge	12,5	12,1	12,3	Form: elliptisch Längsachse der Ellipse parallel zur Längsachse des Armes
	proximaler Abschnitt	7,4	7,5	7,4	
	distaler Abschnitt	5,1	4,6	4,9	
	Gesamtbreite	7,3	6,2	6,5	
	lateral hinten	4,0	3,0	3,2	
	lateral vorn	3,3	3,2	3,3	
3. Unterschenkel 11 cm unterhalb der Tuberositas tibiae, 3 cm lateral neben der Tibiakante	Gesamtlänge	12,7	12,1	12,3	Form: elliptisch Längsachse der Ellipse parallel zur Längsachse des Unterschenkels
	proximaler Abschnitt	6,8	7,4	7,6	
	distaler Abschnitt	5,9	4,7	4,7	
	Gesamtbreite	8,4	6,1	6,7	
	lateraler Abschnitt	4.1	3,0	3,2	
	medialer Abschnitt	4,3	3,1	3,5	
4. Rücken Mittellinie, 7. Brustwirbel	Gesamtlänge	12,3	12,3	12,2	Form: elliptisch Längsachse der Ellipse parallel zur Längsachse der Wirbelsäule
	kranialer Abschnitt	7,5	7,6	7,5	
	kaudaler Abschnitt	4,8	4,7	4,7	
	Gesamtbreite	8,0	6,0	6,7	
	lateral rechts	4,0	3,0	3,3	
	lateral links	4,0	3,0	3,4	

Tabelle 3

Primärer Reizort	Abschnitt	Durchschnitt in cm		Bemerkungen
		Vp. I	Vp. II	
1. Oberschenkel Oberseite, 15 cm über dem oberen Rand der Patella (gestreckt) in der Mittellinie	Gesamtlänge	13,0	12,4	Form: elliptisch Längsachse der Ellipse parallel zur Längsachse des Oberschenkels
	prox. Abschnitt	8,2	7,5	
	dist. Abschnitt	4,8	4,9	
	Gesamtbreite	7,3	6,3	
	lat. Abschnitt	3,5	3,0	
	medial. Abschnitt	3,8	3,3	
2. Oberschenkel laterale Fläche, wie Nr. 1, 13 cm lateral der Mittellinie	Gesamtlänge	12,2	12,1	Form: elliptisch Längsachse der Ellipse parallel zur Längsachse des Oberschenkels
	prox. Abschnitt	7,2	7,0	
	dist. Abschnitt	5,0	5,1	
	Gesamtbreite	7,3	6,3	
	hint. Abschnitt	3,5	3,1	
	vord. Abschnitt	3,8	3,2	
3. Brust lateral, hintere Axillarlinie, 6. Intercostalraum links	Gesamtlänge	12,3	12,2	Form: elliptisch Längsachse der Ellipse parallel zur Längsachse der Rippen
	kranial hinten	7,6	7,5	
	kaudal vorn	4,7	4,7	
	Gesamtbreite	7,5	7,3	
	oberer Abschnitt	3,8	3,8	
	unterer Abschnitt	3,7	3,5	
4. Bauch Mittellinie, 6 cm oberhalb des Nabels	Gesamtlänge	12,2	12,1	Form: elliptisch Längsachse der Ellipse parallel zur Längsachse des Rumpfes
	kran. Abschnitt	6,7	7,2	
	kaud. Abschnitt	5,5	4,9	
	Gesamtbreite	7,8	5,9	
	lateral rechts	3,9	2,9	
	lateral links	3,9	3,0	

Mit zunehmender Reizfläche des primären Temperaturreizes werden auch die Irradiationsfelder größer. Die Bestimmung der Umrisse der Wärmeirradiationsfelder am Rumpf wird mit steigender Größe der Bodenfläche des Temperators etwas unsicherer, die ovale Form unregelmäßiger. Die Versuche wurden nur am Oberschenkel, Bauch und Rücken ausgeführt, da der größte Temperator am Arm und Unterschenkel nicht in ganzer Fläche mit der Haut in Kontakt zu bringen war. Der Vergrößerung der Reizflächen entspricht eine Vergrößerung der Irradiationsfelder, aber nicht in gleichmäßig ansteigendem Verhältnis.

Die Flächen der mit den verschiedenen Temperatoren erzeugten Irradiationsfelder standen untereinander in einem Verhältnis von ca. 1 : 2 : 4 sowohl bei Kälte- als auch Wärmereizen. Die Stärke des primären Temperaturreizes hatte auch hier keinen Einfluß auf die Ausdehnung der Irradiationsfelder.

Tabelle 4

Warm. (35°, 40°, 45°, am Unterarm auch 34° C.) Hauttemperatur 25° C

Primärer Reizort	Abschnitt	Durchschnitt in cm			Bemerkungen
		Vp. I	Vp. II.	Vp. III	
1. Unterarm Mitte der Volarseite, ca. 16 cm oberhalb Handgelenk (Radiusköpfchen)	Gesamtlänge	32,4	31,6	32,0	Form: unregelmäßig oval. Längsachse des Feldes parallel zur Längsachse des Armes
	proximaler Abschnitt	16,2	16,4	16,2	
	distaler Abschnitt	16,2	15,2	15,8	
	Gesamtbreite	12,5	12,3	12,7	
	radialer Abschnitt	5,9	6,0	5,7	
	ulnarer Abschnitt	6,6	6,3	7,0	
2. Oberarm laterale Fläche, 21 cm oberhalb Olecranon, gebeugt, 3,5 cm lateral der hinteren Mittellinie	Gesamtlänge	30,5	30,3	30,6	Wie unter 1
	proximaler Abschnitt	15,9	15,4	15,9	
	distaler Abschnitt	14,6	14,9	14,7	
	Gesamtbreite	12,1	13,5	13,1	
	lateraler hinterer Abschnitt	5,8	6,5	6,3	
	lateraler vorderer Abschnitt	6,3	7,0	6,8	
3. Unterschenkel 11 cm unterhalb der Tuberositas tibiae, 3 cm lateral der Tibiakante	Gesamtlänge	30,8	31,8	31,0	Form: wie unter 1 Längsachse des Feldes parallel der Längsachse des Unterschenkels
	proximaler Abschnitt	16,0	16,5	16,1	
	distaler Abschnitt	14,8	15,3	14,9	
	Gesamtbreite	14,4	14,4	13,9	
	lateraler Abschnitt	7,3	7,5	7,1	
	medialer Abschnitt	7,1	6,9	6,8	
4. Rücken Mittellinie, 7. Brustwirbel	Gesamtlänge	30,7	31,5	31,2	Form: wie unter 1 Längsachse des Feldes parallel zur Wirbelsäule
	kranialer Abschnitt	14,4	15,0	16,3	
	kaudaler Abschnitt	14,3	15,0	14,9	
	Gesamtbreite	13,3	13,1	13,4	
	lateral rechts	6,6	6,6	6,8	
	lateral links	6,7	6,5	6,6	

Tabelle 5

Warm. (35°, 40°, 45° C) Hauttemperatur 25° C

Primärer Reizort	Abschnitt	Durchschnitt in cm		Bemerkungen
		Vp. I	Vp. II	
1. Oberschenkel Oberseite, 15 cm über oberem Partellarand (gestreckt) in der Mittellinie	Gesamtlänge	31,1	30,1	Form: unregelmäßig oval Längsachse des Feldes parallel zur Längsachse des Oberschenkels
	prox. Abschn.	17,1	15,5	
	dist. Abschn.	14,0	14,6	
	Gesamtbreite	13,5	14,0	
	lat. Abschn.	6,7	6,7	
	medial. Abschn.	7,2	7,3	
2. Oberschenkel lat. Fläche, wie 1 13 cm lat. der Mittellinie	Gesamtlänge	30,2	31,0	Form: wie unter 1 Längsachse des Feldes parallel der Längsachse des Oberschenkels
	prox. Abschn.	16,3	16,4	
	dist. Abschn.	13,9	14,6	
	Gesamtbreite	13,3	13,8	
	hinter. Abschn.	6,7	6,6	
	vorder. Abschn.	6,6	7,2	
3. Brust later. hintere Axillarlinie, 6. Interkostalraum	Gesamtlänge	30,6	31,5	Form: wie unter 1 Längsachse des Feldes parallel zum Verlauf der Rippen
	kranial. hint. kaudal vorn	15,9	17,5	
	Gesamtbreite	14,7	14,0	
	oberer vord. Abschnitt	14,2	15,5	
	unterer hinterer Abschnitt	6,9	6,9	
		7,3	8,6	
4. Bauch Mittellinie, 6 cm oberhalb des Nabels	Gesamtlänge	30,9	30,8	Form: wie unter 1 Längsachse des Feldes parallel zur Medianlinie des Rumpfes
	kranial. Abschn.	17,9	15,9	
	kaudal. Abschn.	13,0	14,9	
	Gesamtbreite	13,4	13,7	
	lat. rechts	6,7	6,9	
	lat. links	6,7	6,8	

d) *Irradiationsfelder und Kataphorese*

In einigen Versuchen haben wir die Irradiationsfelder durch kataphoretisch vertaubte Zonen zerteilt.

Versuchsanordnung: [näheres s. bei Rein (6), *Z. Biol.* **82**, 141 (1924)] Stromentnahme aus einem dem Stadtnetz angeschlossenen Pantostaten; als Kathode diente ein Handbad einer 1%igen NaCl-Lösung, als Anode verschieden lange, 2 cm und 4 cm breite Zinkstreifen sowie ein 1 cm breiter Zinkring, dessen lichte Weite 1,6 cm betrug, so daß eine dem Durchmesser des kleinsten Temperators entsprechende Hautfläche in der Mitte des Ringes nicht anästhesiert wurde. Zwischen Anode und Haut wurde ein der Anodenbreite jeweils angepaßtes, mit 2%iger Kokainlösung (in 80%igem Alkohol) getränktes Stück Fließpapier gelegt. Stromdichte: 0,5 Milliampère pro qcm der Anodenfläche; Dauer des Stromdurchganges 12 Minuten; nach dieser Zeit war die Berührungs- und Temperaturempfindlichkeit unter der Anode völlig erloschen.

Bei den Versuchen verfuhren wir so, daß wir zunächst die Ausdehnung des Irradiationsfeldes wie bisher bestimmten (Reiztemperatur 20° und 40° C, Hauttemperatur 40° und 25° C) und sodann proximal und distal 4 cm vom Mittelpunkt des primären Reizortes entfernt einen 2 cm und 4 cm breiten Streifen der Haut quer über den Unterarm anästhesierten. Dieser reichte einmal nur über die Volarseite des Versuchsarmes und umschloß ein anderes Mal ringförmig den ganzen Unterarm. Danach wurden die Grenzen des Irradiationsfeldes erneut bestimmt.

Die Versuche ergaben, daß auch jenseits des anästhesierten Hautstreifens die taktile Temperaturmitempfindung im gleichen Ausmaß nachweisbar blieb. Innerhalb des anästhesierten Streifens war die taktile Temperaturmitempfindung erst wieder nach Eintritt der vollen Empfindlichkeit für Berührungsreize nachweisbar. Dasselbe war der Fall, wenn wir einen ringförmigen Streifen rings um den Temperator anästhesierten. Die Intensität des primären Temperaturreizes war wie stets belanglos.

III. Dauer und Intensitätsverlauf der taktilen Temperaturmitempfindung

Die Intensität der taktilen Temperaturmitempfindung ist nicht konstant, sondern nimmt vom Beginn und während der Einwirkung des primären Reizes anfangs rasch zu. Der Zeitpunkt des Empfindungsmaximums zeigt dabei Beziehungen zur Stärke des primären Reizes und zur Hauttemperatur.

Die Intensitätszunahme endigt recht plötzlich nach einem von Hauttemperatur und primärer Reizstärke abhängigen Zeitintervall, das mit ziemlicher Genauigkeit meßbar ist. Das Ende der Intensitätszunahme wird von den Vpn. nach einiger Übung zuverlässig beobachtet, wie die gute Überstimmung in den Zeitversuchen erkennen läßt. Die Intensität der taktilen Temperaturmitempfindung bleibt dann eine Zeitlang gleich, um bei längere Zeit weiter einwirkendem Primärreiz etwa parallel zur Temperaturempfindung am primären Reizort schließlich wieder abzunehmen. Genauere Angaben lassen sich über den letzten Teil der Kurve des Intensitätsverlaufes der Mitempfindung nicht machen.

Anders bei zeitlich begrenzter Einwirkung des Primärreizes: Nach dessen Absetzen wird zunächst ein langsamer Abfall der Intensität der taktilen Temperaturmitempfindung merkbar, die nach einer gewissen Zeit ganz verschwindet. Dieser Zeitpunkt ist wiederum mit ziemlicher Sicherheit wahrzunehmen. Die im folgenden mitgeteilten Zeiten ergeben jedoch nur Annäherungs-

werte, die lediglich Veränderungen der Empfindungsintensität registrierten, weil bei ihnen durch die Versuchsanordnung selber bedingte zeitliche Verzögerungen zu berücksichtigen sind. Die Vpn. müssen mit der Angabe des Zeitpunktes, zu welchem sie eine Veränderung der Empfindungsintensität feststellen, hinter dem tatsächlichen Eintritt dieses Wechsels zurückbleiben, da die Änderung der Empfindungsintensität nur durch einen Vergleich mit einer vorhergehenden stärkeren oder schwächeren Empfindungsstufe möglich ist. Weiterhin wirkt die Benachrichtigung des Vls. durch die Vp. und die Arretierung der Stoppuhr verzögernd. Die angegebenen Zeiten sind allgemein gegenüber den tatsächlichen Zeiten ein wenig zu lang.

Zu den Zeitmessungen mußte die bisher benutzte Versuchsanordnung abgeändert werden. Die Geschwindigkeit der Temperaturveränderung, die beim einfachen Umschalten des Wassers von Hauttemperatur auf das Wasser von Reiztemperatur innerhalb des Temperators erzielt wird, ist je nach der Temperaturdifferenz zwischen Reizwasser und Wasser von Hauttemperatur verschieden. Sie ist von Hahn annähernd errechnet [s. *Pflügers Arch.* **215**, H. 1/2, 137 (1926)]. Der Übergang von warm zu kalt und umgekehrt ist bei einer derartigen Versuchsanordnung ein allmählicher, der Zeitpunkt des Reizbeginns für meine Zwecke so nicht hinreichend sicher feststellbar.

Wir verwendeten deshalb jeweils zwei Temperatoren mit gleichgroßer Bodenfläche, die durch Schläuche mit je einem Kessel verbunden waren, von denen der eine das Reizwasser, der andere das Wasser von Hauttemperatur enthielt.

Zur Feststellung des Zeitpunktes, zu welchem das Intensitätsmaximum der taktilen Temperaturmitempfindung auftrat, verfuhren wir folgendermaßen: Nachdem der Haut des primären Reizortes 3 Minuten lang die für die betreffende Versuchsserie gewählte Hauttemperatur mitgeteilt war, hob die Vp. auf einen Zuruf des Versuchsleiters den ersten Temperator ab und setzte an seine Stelle mit der anderen Hand, die durch einen Lederhandschuh vor Temperaturempfindungen geschützt war, auf einen Zuruf den zweiten Temperator auf. Der Wechsel nahm bei eingeübten Vpn. 2—3 Sek. in Anspruch. Gleichzeitig mit dem Aufsetzen des Temperators stellte der Versuchsleiter, der schon während des Temperatorwechsels 5 Sek. vor Reizbeginn die (sekundären) taktilen Reizungen am proximalen bzw. distalen Ende des Feldes begonnen hatte (ca. 4 Berührungen pro Sek.), die Stoppuhr ein. Auf einen Zuruf der Vp. arretierte der Versuchsleiter dann die Stoppuhr. Die Reizdauer betrug im ersten Abschnitt der Versuche höchstens 4 Sek., im zweiten Abschnitt 5, 10 und 20 Sek. Die Größe der Irradiationsfelder wurde täglich vor Versuchsbeginn erneut bestimmt und bezeichnet.

Die Reizdauer wurde bei gleichbleibender Haut- und Reiztemperatur variiert, Reize von gleicher Dauer höchstens zweimal hintereinander zur Einwirkung gebracht, um zu vermeiden, daß die Vp. das zu messende Zeitintervall unwillkürlich schätzte.

Bei der Untersuchung der Nachdauer der taktilen Temperaturempfindung bei zeitlich begrenzter Reizdauer war die Versuchsanordnung fast die gleiche: nachdem die Haut des primären Reizortes innerhalb der 3 Minuten langen Pausen zwischen den Einzelreizungen auf die jeweils gewählte Temperatur gebracht war, setzte die Vp. auf das Kommando „Jetzt" den zweiten Temperator auf. Der Versuchsleiter kontrollierte die Reizdauer auf einer zweiten Sekundenuhr und begann jeweils 5 Sek. vor Reizende mit den taktilen Reizungen. Auf das Kommando „Ab" hob die Vp. den Temperator ab. Gleichzeitig stellte der Versuchsleiter, der fortlaufend weiter Berührungen ausführte, die Stoppuhr ein, die auf einen Zuruf der Vp. arretiert wurde.

Alle im folgenden angegebenen Zahlen sind Durchschnittswerte aus 50 Einzelbestimmungen an Vp. I, die an 10 Tagen in Fünferserien ausgeführt wurden mit Pausen von 3 Minuten nach jeder einzelnen Reizung. Die an Vp. I gewonnenen Ergebnisse sind durch je 20 an 4 Tagen in Fünferserien an Vp. II und III ausgeführte Einzelversuche kontrolliert. Die Streubreite betrug 0,2 Sek. über und unter dem Durchschnittswert. Versuchsgebiet war stets die Volarfläche des rechten Unterarmes. Die gemessenen Zeiten sind unabhängig von der Größe der Bodenfläche der Temperatoren.

A. Das Intensitätsmaximum der Temperaturmitempfindung

Die taktile Temperaturmitempfindung ist bereits unmittelbar nach Reizbeginn am primären Reizort sowohl distal wie proximal schwach nachweisbar. Dies gilt sowohl für Warm- als auch Kaltreize und wird bei der oben beschriebenen Versuchsanordnung deutlich: werden bereits vor Beginn des Temperaturreizes am primären Reizort proximal oder distal Berührungsreize gesetzt, so ändert sich im Moment der primären Reizwirkung die Empfindungsqualität am sekundären Reizort und man beobachtet eine schwache, dem Charakter des Primärreizes entsprechende, sofort schnell an Intensität zunehmende taktile Temperaturmitempfindung.

a) Kälte

Die Ergebnisse der Untersuchung der zeitlichen Lage des Intensitätsmaximums der taktilen Temperaturmitempfindung bei primären Kaltreizen sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Zeitangaben in Tab. 6 und 7 in Sekunden.

Tabelle 6

Reiz	Zwischentemperaturen der Haut											
	30°			35°			40°			45°		
	Vp. I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
25°	2,5	2,6	2,4	2,2	2,2	2,1	1,9	2,0	1,8	1,6	1,6	1,7
20°	2,3	2,2	2,2	1,9	2,0	1,9	1,6	1,6	1,5	1,3	1,3	1,3
15°	1,9	1,9	2,0	1,5	1,6	1,6	1,2	1,3	1,3	1,0	1,0	0,9
10°	1,6	1,6	1,6	1,3	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	0,6	0,7	0,7

Aus der Tabelle geht hervor, daß bei gleichbleibender Hauttemperatur und zunehmender Reiztemperatur sich das Zeitintervall zwischen Reizbeginn und Intensitätsmaximum der taktilen Temperaturmitempfindung gleichmäßig verkürzt, daß umgekehrt bei gleichbleibendem Reiz und um den gleichen Betrag steigender Hauttemperatur eine ebensolche Verkürzung eintritt. Vergleicht man die Zeiten in der ersten Querspalte mit denen der ersten senkrechten Spalte usw., so ergibt ergibt sich, daß es offensichtlich gleichgültig ist, ob die Reiz- oder die Hauttemperatur um den gleichen Betrag verändert wird, um stets zu demselben Zeitpunkt für das Auftreten des Empfindungsmaximums zu kommen

Der Versuch, derartige Messungen auch am distalen Ende des Kälteirradiationsgebietes auszuführen, gelang nicht. Auch distal ist mit dem Beginn der Einwirkung des primären Kältereizes sofort eine schwache taktile Temperaturmitempfindung nachweisbar. Die Intensitätssteigerung ist jedoch weit weniger ausgesprochen als proximal und verläuft mit allmählichem Übergang, so daß den Vpn. die Angabe des Zeitpunktes des Endes der Intensitätssteigerung unmöglich war.

b) Wärme

Bei den mit Warmreizen ausgeführten Untersuchungen ergab sich, daß das Empfindungsmaximum der taktilen Temperaturmitempfindung bei Temperaturen über 38,8° C sowohl distal wie proximal so schnell auftrat, daß dieses kurze Zeitintervall mit der Stoppuhr nicht meßbar war. Deshalb wurden als Wärmereize nur Temperaturen bis zu 38° C angewendet. Das Ergebnis der Versuche ist in Tab. 7 niedergelegt.

Tabelle 7

Reiz	Zwischentemperaturen der Haut								
	30°			25°			20°		
	Vp. I	II	III	I	II	III	I	II	III
34°	1,4	1,5	1,4	1,1	1,2	1,2	0,9	1,0	0,8
36°	1,3	1,4	1,3	1,0	1,0	1,0	0,7	0,8	0,7
38°	1,2	1,2	1,2	0,9	0,8	0,9	0,6	0,7	0,6
40°	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Aus Tab. 7 geht hervor, daß bei zunehmender Reiztemperatur und gleichbleibender Hauttemperatur eine gleichmäßige Verkürzung des Zeitintervalls zwischen Reizbeginn und Auftreten

Tabelle 8. (Kalt)

Reiztemperatur	Reizdauer in Sek.	Hauttemperatur											
		30°			35°			40°			45°		
		Vp. I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
25°	5″	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4
	10″	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,9
	20″	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20°	5″	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4
	10″	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9	1,8
	20″	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,6
15°	5″	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4
	10″	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8
	20″	2,5	2,4	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7

Tabelle 9. (Warm)

Reiztemperatur	Reizdauer in Sek.	Hauttemperatur											
		30°			35°			40°			45°		
		Vp. I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
34°	5″	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2
	10″	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6
	20″	2,4	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4
38°	5″	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2
	10″	1,6	1,6	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5
	20″	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	2,4	2,3
45°	5″	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2
	10″	1,6	1,7	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6
	20″	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	2,5

des Empfindungsmaximums erfolgt, daß umgekehrt bei gleichbleibendem Reiz und gleichmäßig abnehmender Hauttemperatur ebenfalls eine gleichmäßige Verkürzung dieses Zeitintervalls eintritt.

Im Gegensatz zu den mit Kältereizen gemachten Erfahrungen ließ sich beim Arbeiten mit Wärmereizen sowohl proximal als auch distal der Zeitpunkt bestimmen, zu welchem die Mitempfindung ihr Maximum erreichte. Die Ergebnisse waren proximal wie distal gleich, so daß sich eine gesonderte Darstellung der distal gewonnenen Werte erübrigt.

B. Die Nachdauer der taktilen Temperaturmitempfindung

Nach dem Absetzen des primären Temperaturreizes sinkt die Intensität der taktilen Temperaturmitempfindung langsam ab, um plötzlich ganz zu verschwinden, so daß die sekundären Reizungen nur mehr eine reine Berührungsempfindung auslösen. Die Ergebnisse sind proximal und distal die gleichen und sind in Tab. 8 und 9 verzeichnet.

In Tab. 8 konnte der Zeitpunkt des Verschwindens der taktilen Temperaturmitempfindung bei einem Reiz von 25° nach 20″ Reizdauer nicht angegeben werden, da die Mitempfindung nach dieser Zeit nur noch sehr undeutlich war. Die Ergebnisse besagen, daß die Nachdauer der taktilen Temperaturmitempfindung unabhängig von der Stärke des primären Temperaturreizes und der Hauttemperatur ist. Die Nachdauer der Temperaturmitempfindung ist dagegen abhängig von der Dauer der Einwirkung des Primärreizes, und zwar entspricht bei Warm- als auch bei Kaltreizen einer Verlängerung der Einwirkungsdauer des Primärreizes um 5 Sek. (bis zu insgesamt 20 Sek.) eine Verlängerung der Nachdauer der Mitempfindung von etwa 0,4 Sek. Die Größe der Fläche des primären Temperaturreizes hat keinen Einfluß auf die Länge der gemessenen Zeiten.

Besprechung der Versuchsergebnisse

Die Längsachsen der Irradiationsfelder zeigen in ihrer Verlaufsrichtung gewisse Beziehungen zur Innervation des betreffenden Versuchsgebietes: sie verlaufen meist parallel zu den das betreffende Versuchsgebiet versorgenden Hautnerven: an den Extremitäten parallel der Mittellinie, an der Brust etwa parallel dem Verlauf der Rippen. Liegt der primäre Reizort in der Mittellinie des Rumpfes bzw. der Extremität, so sind die Unterschiede

der Breitenmaße nach beiden Seiten nur gering. Liegt der primäre Reizort dagegen außerhalb der Mittellinie (Brust, Oberschenkel- und Oberarmseitenfläche), so sind die Unterschiede wesentlich größer. Dasselbe war der Fall, wenn wir den primären Reizort dicht neben der Mittellinie wählten. Danach wäre anzunehmen, daß die periphere Innervation einen maßgebenden Einfluß auf die Achsenlage der Irradiationsfelder habe. Demgegenüber zeigte sich jedoch beim Arbeiten mit den größer dimensionierten Temperatoren, daß sich das Wärmeirradiationsfeld auf der Oberschenkelvorderseite z. B. (Wurzelbezirk L 3) in der Breite vor allem nach medial vergrößerte, während seine laterale Grenze (Oberschenkelseitenfläche = Wurzelbezirk L 2) nur wenig verschob. Das spräche dafür, daß die Vergrößerung der Irradiationsfelder vorwiegend in dem Hautbezirke vor sich geht, der vom gleichen Rückenmarksegment versorgt wird. Inwieweit die periphere oder segmentale Hautinnervation maßgebend für Ausdehnung und Achsenrichtung der Irratiationsfelder ist, kann aus den Befunden nicht sicher entschieden werden. Möglicherweise kommt beiden eine gewisse Bedeutung zu.

Aus den Zeitversuchen geht hervor, daß das Intensitätsmaximum der taktilen Temperaturmitempfindung um so schneller auftritt, je größer die Differenz zwischen Haut- und Reiztemperatur ist, und daß die Nachdauer der taktilen Temperaturmitempfindung unabhängig von Reiz- und Hauttemperatur mit steigender Dauer des Primärreizes zunimmt. Das Maximum der taktilen Wärmemitempfindung tritt schneller auf als das der taktilen Kältemitempfindung, die bei gleicher Reizdauer länger nachweisbar ist.

Auffallend ist eine weitgehende Übereinstimmung meiner Untersuchungsergebnisse mit denen von Rein und Strughold (9, 10) auf einem anderen Gebiet. Diese untersuchten nämlich die Simultanraumschwellen der Kalt- und Warmempfindung nach Adaption auf den mit dem Temperaturreiz verknüpften Berührungsreiz. Die von ihnen angegebenen Werte für die Simultankalt- und Warmraumschwelle liegen in der gleichen Größenordnung wie die Maße der beschriebenen Wärme- und Kälteirradiationsfelder. Das Verhältnis von Simultankalt- zu Warmraumschwelle geben Rein und Strughold mit 1 : 2,3 an. Setzt man die Längen- und Breitenmaße der Kälte- und Wärmeirradiationsfelder ebenfalls in Relation, so erhält man ein Verhältnis von 1 : 2,5 für die Längen- und 1 : 2,1 für die Breitenmaße. Auch Rein und Strughold beobachteten ge-

wisse Zusammenhänge zwischen Raumschwellengröße und peripherer und segmentaler Innervation der Haut. In einem Punkte weichen jedoch meine Ergebnisse von denen Reins und Strugholds ab: diese stellten — wie auch v. Frey (16) für den Drucksinn, Schriever (11) für den Schmerzsinn — mit wachsender Reizstärke eine Verkleinerung der Temperaturraumschwelle fest, während aus meinen Untersuchungen hervorgeht, daß die Ausdehnung der Irradiationsfelder von der Stärke des primären Temperaturreizes unabhängig ist.

Zur Erklärung der Ursache des Auftretens der taktilen Temperaturmitempfindung wurde von Goldscheider (1) zentrale Irradiation angenommen. Die mitgeteilten Versuchsergebnisse bestätigen insofern die Berechtigung zu dieser Annahme, als sie weitgehende Übereinstimmung mit den ebenfalls durch Irradiation erklärten, von Rein und Strughold untersuchten Temperaturraumschwellen aufweisen und mit der von Bernstein (10) für den Drucksinn aufgestellten Irradiationshypothese in Einklang zu bringen sind.

Nach Bernstein ist im Rückenmark eine nervöse Fläche anzunehmen, welche die Leitungsbahnen des Drucksinnes — und wohl auch des Temperatursinnes — unterbricht und in der eine Irradiation der Erregungen stattfindet. Nach Bernstein nimmt die Stärke der Erregung in der — kreisförmig gedachten — nervösen Fläche vom Einstrahlungspunkt in Richtung der Radien in Form einer Exponentialfunktion ab. Dringen mehrere Erregungen gleichzeitig an verschiedenen Orten in die nervöse Fläche ein, so erfahren sie dort, wo ihre Irradiationskreise sich decken, eine Summation. Liegen die beiden, je ein Maximum der Erregung darstellenden Einstrahlungspunkte nahe beieinander, so enthält die summierte Kurve nur noch ein Maximum und die Raumschwelle ist erreicht.

Ob die Annahme Bernsteins berechtigt ist, daß die Irradiationsflächen kreisförmig sind, bezweifelt Schriever für den Schmerz-Kälte- und Wärmesinn und vermutet eine elliptische Form der Irradiationsflächen, mit dem Maximum der Erregung im Ellipsenbrennpunkt. Diese Vermutung scheint sich durch meine Versuchsergebnisse (s. vor allem die Kälteirradiationsfelder) zu bestätigen.

Nach meinen Untersuchungsergebnissen scheint es mir erlaubt, anzunehmen, daß im Zentrum eine innige Beziehung zwischen den die Temperaturempfindungen leitenden Bahnen besteht. Die

Verkürzung des Zeitintervalls, zu welchem das Maximum der taktilen Temperaturmitempfindung fühlbar wird, könnte so ausgedeutet werden, daß die in den Zwischenzeiten dem primären Reizort mitgeteilte Hauttemperatur Stücke der zentralen Leitungsbahnen in einem gewissen Umfang erregt und in einen Zustand erhöhter Reaktionsbereitschaft setzt, was sich bei nachfolgender Kalt- bzw. Warmreizung durch Verkürzung eben dieses Zeitintervalles ausdrückt.

Die Tatsache, daß mit zunehmender Reizfläche eine Vergrößerung der Irradiationsfelder auftritt, findet ebenfalls durch die Irradiationshypothese Bernsteins eine Erklärung; je mehr Punkte der Hautoberfläche gleichzeitig durch den primären Temperaturreiz erregt werden, um so größer muß auch die als verkleinertes Abbild der Hautoberfläche gedachte zentrale Irradiationsfläche sein. Inwieweit für die Ausdehnung der Irradiationsfelder bei gleichbleibender Reizfläche und wechselnder Reizstärke das für die sensible Nervenfaser von Verworn (12), Winterstein (13), Forbes und Gregg (14) nachgewiesene, für die Sinneswahrnehmung, speziell Temperaturempfindungen, auf Grund von Versuchen von Stuber (15) vermutete Alles- oder Nichtsgesetz gilt, muß dahingestellt bleiben.

Die Modifikation der Irraditationshypothese von Bernstein, die v. Frey (16) zur Erklärung der von ihm beobachteten Verkleinerung der Simultanraumschwelle der Druckempfindung bei steigender Reizstärke vorgenommen hat, kann unberücksichtigt bleiben, da ich keine Größenveränderung der Irradiationsfelder bei steigender Reizstärke, sondern nur eine Intensitätssteigerung der taktilen Temperaturmitempfindung beobachtet habe.

Zusammenfassung

Die Größe der Irradiationsfelder ist unabhängig von der Stärke des Primärreizes und zeigt nur geringe individuelle und regionäre Unterschiede. Sie ist abhängig von der Größe der auf die Haut einwirkenden Fläche des Primärreizes. Die Wärmeirradiationsfelder sind etwa $2^1/_2$ mal so groß als die durch Kälte hervorgerufenen. Die Kälteirradiationsfelder sind typisch elliptisch geformt, in zentraler Richtung deutlich ausgedehnter als in peripherer Richtung, während die Wärmeirradiationsfelder mehr unregelmäßig oval geformt in zentraler und peripherer Richtung etwa gleich lang sind.

Das Zeitintervall zwischen Reizbeginn am primären Reizort und Auftreten des Maximums der taktilen Temperaturmitempfindung ist abhängig von der Differenz zwischen Haut- und Reiztemperatur. Bei Vergrößerung der Differenz zwischen Haut- und Reiztemperatur verkürzt sich dieses Zeitintervall. Die Nachdauer der taktilen Temperaturempfindung ist unabhängig von der Reizstärke und Hauttemperatur, abhängig von der Reizdauer.

Aus den Versuchsergebnissen geht mit hinreichender Wahrscheinlichkeit hervor, daß der Entstehungsort der taktilen Temperaturmitempfindung nicht an der Peripherie gesucht werden kann, vielmehr in zentraler gelegenen Abschnitten der Temperatursinnesbahn gelegen sein dürfte. Die taktile Temperaturmitempfindung ist mit Wahrscheinlichkeit auf Irradiation zurückzuführen. Die Versuchsergebnisse sind mit der Irradiationshypothese Bernsteins in Einklang zu bringen.

Literaturverzeichnis

1. A. Goldscheider, *Pflügers Arch.* **165**, 1 (1916).
2. A. Goldscheider, *Pflügers Arch.* **168**, 36 (1917).
3. H. Hahn, Handbuch d. biol. Arbeitsmethoden von Abderhalden, Abt. V, Tl. 7, 919—994. (1930).
4. H. Hahn, *Z. Sinnesphysiol.* **60**, 213 (1929).
5. E. Kaestner, *Z. Sinnesphysiol.* **62**, 110 (1931).
6. H. Rein, *Z. Biol.* **82**, 141 (1924).
7. H. Hahn, *Pflügers Arch.* **215**, 137 (1926).
8. H. Rein und H. Strughold, *Z. Biol.* **82**, 553 (1925).
9. H. Rein und H. Strughold, *Z. Biol.* **87**, 599 (1928).
10. J. Bernstein, Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsystem. Heidelberg 1871.
11. H. Schriever, *Z. Biol.* **84**, 585 (1926).
12. M. Verworn, Erregung und Lähmung. Jena, Fischer. 1914.
13. H. Winterstein, Narkose. Berlin, J. Springer. 1919.
14. Forbes und Gregg, *Amer. J. Physiol.* **39**, 172 (1916).
15. K. Stuber, *Pflügers Arch.* **212**, 501 (1926).
16. M. v. Frey, *Z. Biol.* **59**, 516 (1913).

Lebenslauf.

Ich, Albert Theodor Harald Taeger, geb. am 28. Februar 1907 in Zittau i. Sa., trat nach Absolvierung der Vorschule Ostern 1917 in das Gymnasium in Zittau, Ostern 1919 in die Quarta des Heinrich-v.-Kleist-Realgymnasiums in Berlin-Schmargendorf ein, wo ich am 10. März 1926 meine Reifeprüfung ablegte.

1926/27 studierte ich an der Universität Freiburg i/Br. und bezog Ostern 1927 die Universität Berlin, an der ich am 5. Mai 1928 meine ärztliche Vorprüfung ablegte. Meine klinischen Semester absolvierte ich sämtlich in Berlin und beendete dort am 26. 9. 31 mein Staatsexamen. Meine Approbation erhielt ich nach Beendigung meines praktischen Jahres an der I. Medizin. Klinik der Charité, am 28. September 1932.